
Modélisation 2D de l'hydrodynamique dans un bassin de retenue-décantation d'eau pluviale

Andrés Torres* — Gislain Lipeme Kouyi* — Jean-Luc Bertrand-Krajewski* — André Paquier**

* INSA-Lyon, LGCIE, F-69621 Villeurbanne cedex, France

{andres.torres, gislain.lipeme-kouyi, jean-luc.bertrand-krajewski}@insa-lyon.fr

** Cemagref, Unité de Recherche Hydrologie-Hydraulique, CP 220, 69336 Lyon Cedex 09, France

paquier@lyon.cemagref.fr

RÉSUMÉ. Le bassin de retenue-décantation des eaux pluviales Django Reinhardt à Chassieu (Rhône) fait l'objet d'un suivi expérimental, en vue de mieux comprendre et modéliser les phénomènes de décantation dans les ouvrages réels de grande taille. Six événements pluvieux importants observés entre juin et décembre 2006, pour lesquels nous disposons de données expérimentales fiables, ont été utilisés pour caler le modèle 2D Rubar 20 et vérifier les résultats des simulations. La comparaison des hauteurs calculées et mesurées montre la capacité du modèle à reproduire le comportement hydrodynamique de l'ouvrage.

ABSTRACT. The Django Reinhardt stormwater retention-settling tank in Chassieu (Rhône) provided the basis for an experimental monitoring campaign aiming to better understand and model settling processes in full-scale large facilities. In order to calibrate the 2D hydrodynamic model Rubar 20 and to verify the results of simulations, six significant storm events observed between June and December 2006 have been used. The reliable experimental data series allowed comparing calculated and measured water depths and showed the ability of the model to reproduce the hydrodynamic behaviour of the facility.

MOTS-CLÉS : bassin de retenue-décantation, modélisation 2D, hydrodynamique, calage

KEYWORDS: storage-settling tank, CFD, hydrodynamics, calibration

1. Introduction

Les bassins de retenue d'eau pluviale ont été construits initialement pour limiter les risques d'inondations. Cependant, de très bonnes performances de dépollution des eaux stockées, dues à la décantation des polluants présents majoritairement en phase particulaire, ont été observées dans ce type d'ouvrages (Marsalek *et al.*, 1992; Chebbo, 1992; Strecker *et al.*, 2004). De nombreux bassins de retenue sont donc utilisés comme ouvrages de retenue-décantation, mais sans que les phénomènes liés à la décantation soient entièrement compris et modélisés. De nombreuses recherches sont menées depuis plusieurs années en laboratoire sur des modèles réduits afin de mieux comprendre et modéliser les processus de décantation (Stovin, 1996 ; Stovin *et al.*, 1999 ; Ta, 1999 ; Adamsson *et al.*, 2003). Toutefois les résultats obtenus restent difficilement transposables aux bassins réels des systèmes d'assainissement pour plusieurs raisons : complexité des géométries, variabilité des apports et des caractéristiques hydrodynamiques et des solides...

Dans le cadre de l'OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine – www.othu.org), une action de recherche est dédiée au suivi expérimental et à la modélisation du bassin de retenue-décantation Django Reinhardt situé à Chassieu (France). Dans cet article, nous présentons une première étape de cette action de recherche : la méthodologie de calage d'un modèle hydrodynamique 2D sans transport solide et les résultats obtenus. La comparaison des hauteurs d'eau simulées et mesurées permet de vérifier les résultats numériques liés au comportement hydrodynamique de l'ouvrage.

2. Méthodologie de calage du modèle hydrodynamique 2D

Le bassin de retenue-infiltration Django Reinhardt a été construit en 1975 par la Communauté Urbaine de Lyon pour recueillir les eaux pluviales de la zone industrielle de Chassieu (185 ha). Il a été réaménagé successivement en 1985, en 2002 et en 2004. Il est composé de deux sous-bassins reliés par une canalisation de 60 cm de diamètre : un sous-bassin de retenue-décantation qui sert de pré-traitement à l'amont du sous-bassin d'infiltration. Le radier du sous-bassin de retenue-décantation est revêtu d'une couche de bitume assurant son étanchéité et possède une cunette d'environ 2 m de largeur et 20 cm de profondeur permettant l'écoulement des débits de temps sec (rejets autorisés d'eaux de refroidissement de certains établissements de la zone industrielle).

Les parois du bassin sont des talus naturels inclinés recouverts d'un film plastique étanche. Le volume du sous-bassin de retenue-décantation est de 32200 m³ et sa surface au sol de 11302 m². Les effluents arrivent dans l'ouvrage par deux collecteurs circulaires de 1.6 m de diamètre (entrées 1 et 2 sur la Figure 1). Pour favoriser la décantation, un muret a été construit en 2004. Les eaux supposées être moins chargées après décantation s'écoulent à travers trois orifices pour être

vidangées vers le sous-bassin d'infiltration avec un débit maximal de 350 L/s (Bardin et Barraud, 2004).

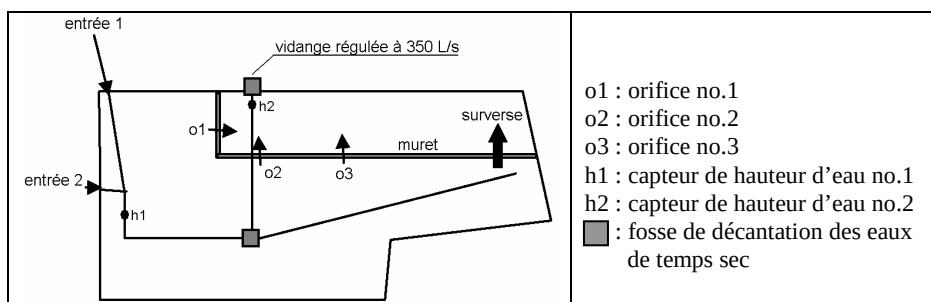


Figure 1. Schéma simplifié du bassin de retenue-décantation Django Reinhardt (vue de dessus)

Pour cette étude, nous avons utilisé le code CFD (Computational Fluid Dynamics) Rubar20 (Cemagref, 2004). Ce logiciel a été originalement conçu pour le calcul de propagation d'ondes sur une zone initialement sèche en deux dimensions. Ce logiciel permet tout calcul hydrodynamique fondé sur la résolution des équations de Barré de Saint-Venant bidimensionnelles lorsque les variations temporelles des caractéristiques hydrauliques sont importantes (crues). Le code utilise la méthode des volumes finis appliquée à une grille composée de quadrilatères et de triangles. La définition des conditions aux limites est faite au moyen d'ouvrages hydrauliques (sorties contrôlées, orifices, etc.). Par ailleurs, le logiciel permet de modéliser le transport en suspension à partir d'une équation de convection-diffusion de la concentration couplée aux équations hydrauliques (Cemagref, 2004).

Les valeurs expérimentales de débit et de turbidité sont recueillies au pas de temps de deux minutes en entrée et en sortie de bassin. Deux capteurs placés au fond du bassin permettent de mesurer les hauteurs d'eau dans l'ouvrage au même pas de temps (h_1 et h_2 sur la Figure 1). Le capteur de hauteur h_2 a été installé au mois de juin 2006. Les valeurs simultanées du débit Q_s en sortie de bassin et de la hauteur d'eau h_2 ont permis d'établir une loi hauteur-débit représentée sur la Figure 2. Cette loi empirique a été imposée en sortie comme condition à la limite aval du domaine de calcul. La condition à la limite amont (entrée) est un hydrogramme mesuré.

Les orifices (voir Figure 1) sont représentés comme des ouvrages de type déversoir rectangulaire. Nous avons sélectionné 6 événements pluvieux enregistrés entre juin et décembre 2006 par les stations de mesure de l'OTHU. Le Tableau 1 montre les volumes cumulés d'entrée et de sortie, ainsi que la différence en pourcentage (notée ΔV) entre ces volumes pour chaque événement pluvieux choisi.

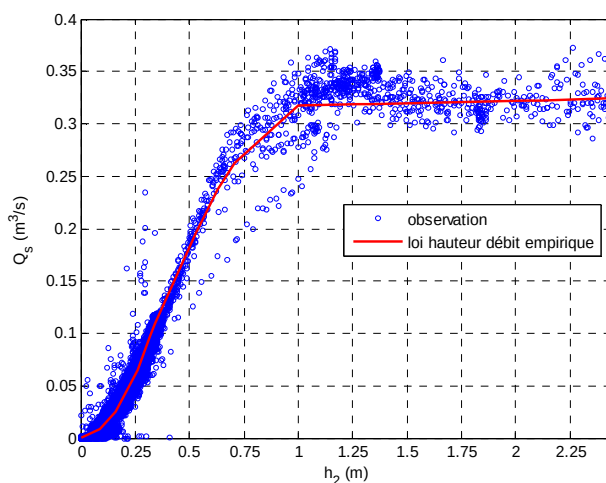


Figure 2. Evolution du débit de sortie Q_s en fonction de la hauteur d'eau h_2

Tableau 1. Différences en pourcentage entre les volumes cumulés d'entrée (V_e) et de sortie (V_s) pour les six événements pluvieux choisis

Date	Identifiant	V_e (m ³)	V_s (m ³)	ΔV (%)
27-juin-06	20060627	10838	9336	14%
06-juil-06	20060706	19126	16695	13%
12-août-06	20060812	9516	7244	24%
17-août-06	20060817	20562	18509	10%
29-août-06	20060829	6026	6065	1%
15-sept-06	20060915	27661	21964	21%

Le calage initial du modèle a été réalisé à partir de l'événement de référence 20060829. En effet, cet événement présente l'écart le plus faible entre les volumes cumulés d'entrée et de sortie (Tableau 1). La vérification des résultats numériques a été faite en utilisant les cinq autres événements. Le critère permettant de déterminer les valeurs des paramètres de calage est l'écart moyen EM calculé comme suit :

$$EM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{i-obs} - Y_{i-sim})^2}{N}} \quad [1]$$

avec : Y_{i-obs} la hauteur h_1 (ou le débit Q_s) mesurée ; Y_{i-sim} la hauteur h_1 (ou le débit Q_s) simulée ; N le nombre de valeurs mesurées au cours de l'événement pluvieux.

Les paramètres de calages (pas d'espace, rugosité de Strickler, coefficients de débit pour les orifices, conditions aux limites) les plus pertinents sont ceux qui permettent de minimiser les écarts entre les hauteurs d'eau mesurées et calculées. Le pas de temps est choisi de telle sorte que la condition de Courant (CFL) soit respectée. Plusieurs combinaisons ont été testées. Pour chaque pas d'espace fixé, nous avons testés tous les autres paramètres. Les valeurs des différents paramètres sont regroupées dans le Tableau 2 :

Tableau 2 : Paramètres de calage testés

Pas d'espace	Rugosité	Coefficients de débit pour les orifices	Conditions aux limites
$\Delta x = 1, 2, 4 \text{ m}$	$K = 30, 40, 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$	$\mu = 0.2, 0.32, 0.42$	Définition de l'hydrogramme sur 1, 2, 4 arêtes à l'entrée

2. Résultats et discussion

Les résultats représentés Figure 3 ont été obtenus pour un maillage régulier avec un pas d'espace Δx de 2 m, un pas de temps Δt de 0.4 s (CFL = 0.6), une rugosité de Strickler de $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (constante dans tout le domaine) et des coefficients de débit fixés à 0.2 pour les orifices O_1 et O_3 et à 0.32 pour l'orifice O_2 . L'hydrogramme d'entrée a été réparti sur 2 arêtes afin d'obtenir des vitesses d'écoulement réalistes ($< 5 \text{ m/s}$).

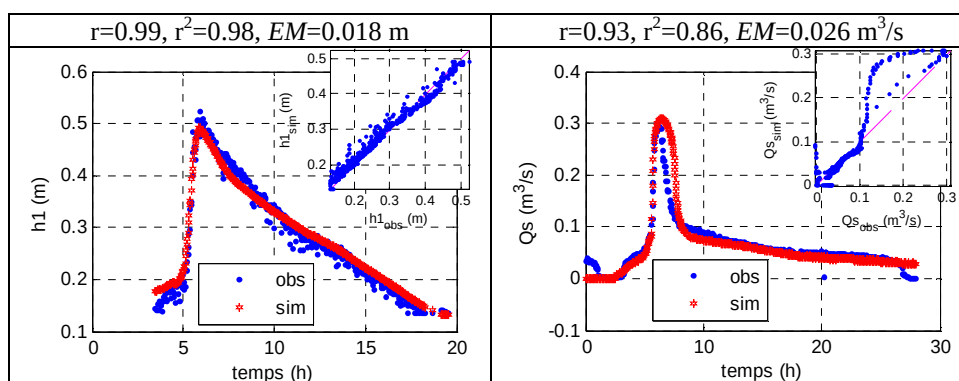


Figure 3. Comparaison des hauteurs d'eau et des débits de sortie observés et simulés pour l'événement de référence 20060829

Nous constatons que l'évolution des hauteurs h_1 simulées est la même que celle des hauteurs h_1 mesurées au cours de l'événement 20060829. Le léger décalage entre les débits de sortie simulés et mesurés est dû à une différence des hauteurs h_2 mesurées et simulées à ces instants (7 à 8 h après le début de l'événement pluvieux). En effet, la loi de vidange $Q_s(h_2)$ imposée à la sortie comme condition à la limite aval est une courbe moyenne passant par la majorité des points expérimentaux (Figure 2). Par conséquent, certains points particuliers, liés à certains événements ou à certains instants au cours des événements, peuvent ne pas suivre l'évolution globale du débit de sortie Q_s en fonction de la hauteur h_2 .

Les résultats numériques ont ensuite été vérifiés en exploitant les données des cinq autres événements pluvieux. La Figure 4 montre les différences obtenues en comparant les hauteurs d'eau et les débits de sortie simulés et mesurés.

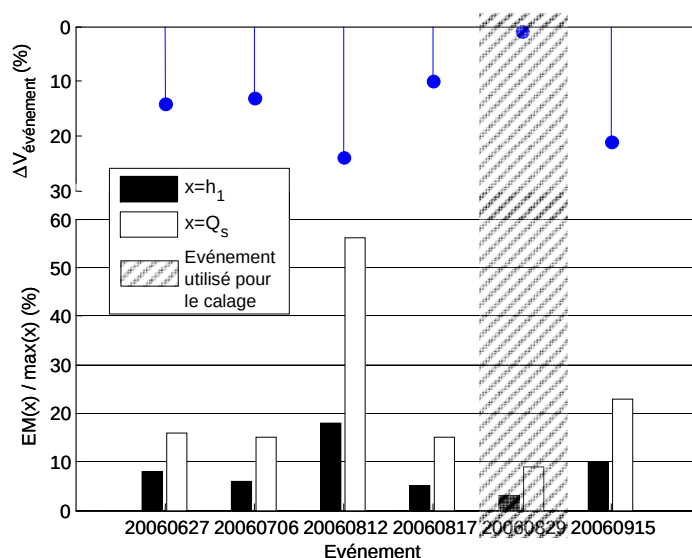


Figure 4. Comparaison des hauteurs d'eau et des débits de sortie simulés et mesurés pour les six événements pluvieux choisis

Nous constatons que les différences ($EM/Valeur$ maximale observée) sont inférieures à 10 % pour les hauteurs d'eau et à 15 % pour les débits de sortie. Ces différences, considérées comme acceptables compte tenu des incertitudes de mesure expérimentales, ont été obtenues pour les événements pluvieux dont les écarts entre les volumes cumulés en entrée et en sortie ne dépassent pas 14 %. En effet, une partie des écarts constatés lors de la vérification des modèles peut provenir des données expérimentales.

A titre d'exemple, la Figure 5 montre le champ de vitesses et les hauteurs obtenus à l'instant $t = 91440$ s (soit 25 h 24 min) pour l'événement 20060817. Les zones de recirculation simulées devraient correspondre aux zones préférentielles de dépôt des sédiments dans l'ouvrage réel. Ceci devra être confirmé ultérieurement lors de l'utilisation du module de transport solide Rubar20TS.

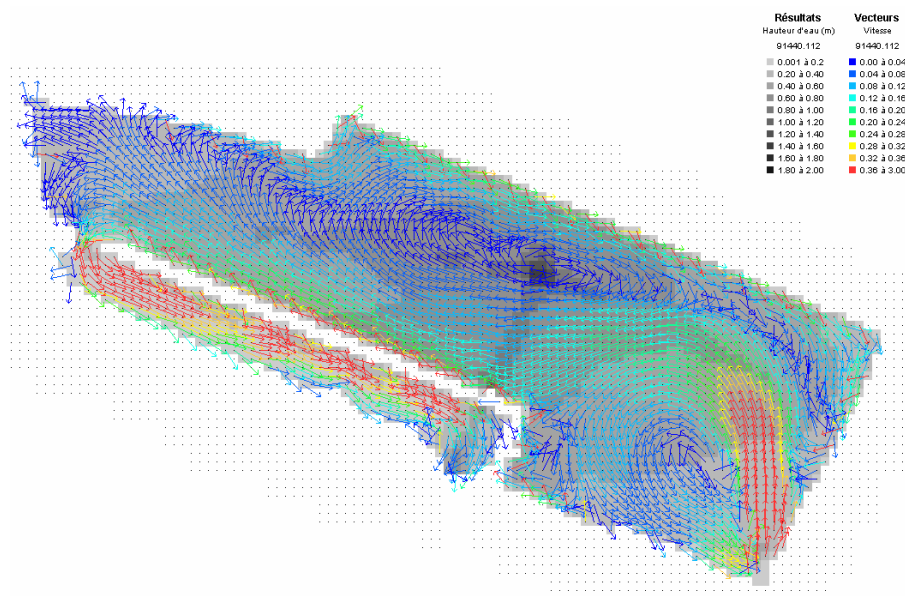


Figure 5. Champs de vitesses et hauteurs d'eau simulés (événement 20060817)

3. Conclusions et perspectives

Le logiciel CFD Rubar20 a été utilisé pour modéliser en 2D le comportement hydrodynamique du bassin de retenue-décantation des eaux pluviales Django Reinhardt à Chassieu (Rhône). Six événements pluvieux pour lesquels nous disposons de données (hauteurs, débits, turbidités) fiables ont été choisis pour caler le modèle puis vérifier les hauteurs et les débits de sortie simulés. Un événement pluvieux de référence présentant une faible différence entre les volumes cumulés en entrée et en sortie a été utilisé pour caler le modèle en minimisant les écarts entre les hauteurs d'eau mesurées et calculées. Cette phase de calage nous a permis de déterminer le pas d'espace, la rugosité de Strickler, les coefficients de débit des orifices et les conditions aux limites permettant de reproduire le comportement hydraulique global de l'ouvrage. Les résultats de comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux montrent la capacité du modèle à simuler hauteurs

d'eau et débit de sortie : les différences par rapport aux valeurs mesurées sont inférieures à 10 % pour les hauteurs d'eau et à 15 % pour les débits de sortie. Nous pouvons en inférer que la simulation de l'hydrodynamique au sein de l'ouvrage (champs de vitesse, hauteur d'eau en tout point) devrait être relativement réaliste.

Les valeurs des paramètres retenues après la phase de calage et utilisées pour la vérification des résultats issus de la modélisation de l'hydrodynamique seront conservées pour simuler, dans une deuxième étape, les processus de décantation au sein de l'ouvrage. Les résultats des simulations seront ensuite confrontés i) aux données disponibles de turbidité (corrélée aux concentrations en matières en suspension) en entrée et sortie d'ouvrage, ii) à la localisation des zones de dépôt et iii) aux flux de sédiments décantés estimés au moyen de 12 pièges à sédiments placés en fond de bassin. L'objectif final est de proposer des améliorations de conception et de gestion des bassins de retenue-décantation d'eau pluviales.

Remerciements

Etude effectuée dans le cadre de l'OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine), avec les financements du programme Alþan (bourses de haut niveau de l'Union Européenne pour Amérique Latine, bourse n° E04D034837CO) et de la DRAST du Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer.

4. Bibliographie

- Adamsson Å., Stovin V., Bergdahl L. (2003). Bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation. *Journal of Environmental Engineering*, 129(7), 651-658.
- Bardin J.-P., Barraud S. (2004). *Aide au diagnostic et à la restructuration du bassin de rétention de Chassieu*. Villeurbanne (France) : INSA de Lyon - Laboratoire URGC Hydrologie Urbaine, rapport pour le compte de la Direction de l'Eau du Grand Lyon, juin 2004, 62 p. (non publié).
- Cemagref (2004). *Logiciel Rubar 20. Notice d'emploi*. Lyon (France) : Cemagref, Département Gestion des Milieux Aquatiques, Unité de Recherches Hydrologie-Hydraulique, Mai 2004, 64 p.
- Chebbo G. (1992). *Solides des rejets pluviaux urbains - Caractérisation et traitabilité*. Thèse de doctorat : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris (France), 400 p. + annexes.
- Marsalek J., Watt W.E., Henry D. (1992). Retrofitting stormwater ponds for water quality control. *Water Poll. Res. J. Canada*, 27(2), 403-422.
- Stovin V.R. (1996). *The prediction of sediment deposition in storage chambers based on laboratory observations and numerical simulations*. PhD thesis: University of Sheffield, UK.
- Stovin V.R., Saul A.J., Drinkwater A., Clifforde I. (1999). Field testing CFD-based predictions of storage chamber gross solids separation efficiency. *Water Science and Technology*, 39(9), 161-168.
- Strecker E., Quigley M., Urbonas B., Jones J., Clary J., O'Brien J. (2004). Urban stormwater BMP performance: Recent findings from the International Stormwater BMP Database Project. *Proceedings of Novatech 2004*, Lyon, France, 6-10 June, 407-414.
- Ta C. T. (1999). Computational fluid dynamic model of storm tank. *Proceedings of the 8th Int. Conf. Urban Storm Drainage*, Sydney, Australia, 30 Aug.-3 Sept., 3, 1279-1286.